

# PF-AR 直接入射路用ビームロスモニタの開発

## DEVELOPMENT OF BEAM LOSS MONITOR FOR PF-AR DIRECT BT

下ヶ橋秀典<sup>#,A)</sup>, 帯名崇<sup>A)</sup>, 多田野幹人<sup>A)</sup>  
Hidenori Sagehashi<sup>#,A)</sup>, Takashi Obina<sup>A)</sup>, Mikito Tadano<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

### Abstract

A new 6.5 GeV beam transport (BT) line dedicated for PF-AR has been constructed. In February 2017, we have started the commissioning of the new BT, and has been operating without major problems. The monitor group has installed beam loss monitors for beam commissioning and for the tuning of daily operations. Before installing in the AR BT line, the sensor has been tested near the injection point of PF-Ring during the users operation of the PF-Ring. After the preliminary test, seven loss monitors have been installed in the new BT line of the PF-AR. The loss monitors has been working without any problem, and it turned out to be an indispensable tool both for beam commissioning and beam tuning to reduce beam losses.

### 1. はじめに

KEK PF-AR では 6.5GeV の電子ビームを直接入射するための新しい輸送路 (PF-AR 直接入射路用) を建設してきた。2017 年 2 月に新入射路の立ち上げと調整運転を開始し、現在は順調にその機能を果たしている。モニタグループでは新入射路の立ち上げと調整運転を行うにあたり、ロスモニタの整備を行ってきた。PF-AR 直接入射路への設置に先立ち、予備テストとして PF Ring の入射点手前付近にセンサを設置し、ビーム入射時のロス検出信号の波形観測を行った。この結果を踏まえ、7 台のロスモニタを PF-AR 直接入射路に設置し、動作試験を経て現在運用を行っている。

### 2. 検出部について

#### 2.1 光検出器

光電子増倍管 (PMT) に動作用の高電圧電源回路 (HV)、各ダイノードに電圧を分配する電圧分割回路を内蔵した光電子増倍管モジュールを使用した。ビームライントンネル内に設置するため、放射線損傷の心配があるが、今回設置した AR-BT は入射頻度が比較的少なく、

Table 1: Metal Package PMT Specifications

Parameter	Description/Value
Spectral Response	230 to 700 nm
Effective Area	φ 8 mm
Input Voltage	+2.8 to +5.5V
Maximum input current *	2.7 mA ( Dark condition )
Control Voltage Range	+0.5V to +1.1V
Gain * ( Typ. )	2.0 × 10 <sup>6</sup>
Size	22 × 22 × 50 mm

\*Control Voltage +1.0V

<sup>#</sup>hidenori.sagehashi@kek.jp

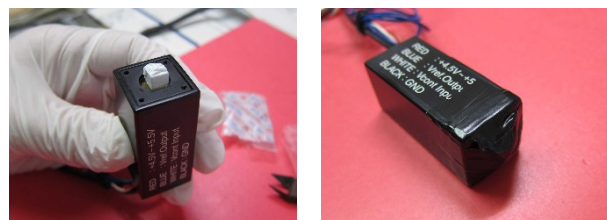
放射線レベルも比較的低いと判断したため採用した。今回使用したモジュールは浜松ホトニクス社製 H10721 である。代表的な仕様を Table 1[1]に示す。

#### 2.2 シンチレータ

サンゴバン社のヨウ化セシウム CsI(Tl) 固体シンチレータを使用した。特長・仕様[2]としては発光輝度が高いシンチレータであり、潮解性の低い Tl 添加型である。最大発光強度波長は 550 nm で、結晶寸法は PMT の有効光電面サイズに合わせて 5.5 × 5.5 × 5.5 mm (センサ接触面は鏡面研磨) のものを使用した。

#### 2.3 セットアップ

Figure 1 に検出部のセットアップの様子を示す。発光時の光を反射させるため、シンチレータに鏡面研磨以外の 5 面を白色テープで巻いている。シンチレータを PMT の入射窓に研磨面と向かい合わせて設置 (接触) し、黒色のテープで PMT 本体とシンチレータを固定すると共に、外部からの光の遮断を行っている。Fig.1 (b) は完成した検出部である。



(a) PMT+CsI(Tl)

(b) Detection unit (Sensor)

Figure 1: Setup of Detection unit.

### 3. PF Ring 入射点手前での予備テスト

#### 3.1 機器の配置

Figure 2 に機器の配置図を示す。予備テストは KEK の Linac から PF Ring への入射ビームを用いて行われた。検出部はビームダクトのある加速器室内に設置し、観測装置 (オシロスコープ) および光検出器用の電源装

置とコントロール電圧用の電源装置は加速器室外の計測ラックに設置した。検出部設置位置から計測ラックまではケーブル長で 50 m 離れている。ケーブルは RG58 相当の同軸ケーブルで検出信号用、検出器電源用、コントロール電圧用の 3 本設置した。

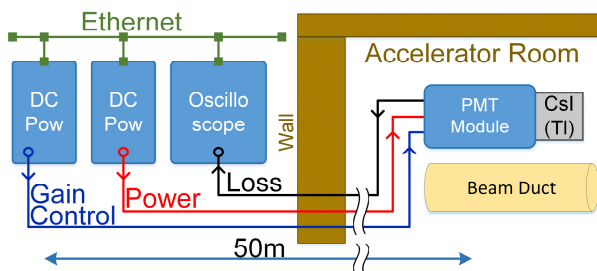


Figure 2: Equipment layout (not scale).

Figure 3 に検出部の設置状況の写真を示す。PF Ring 入射点手前の BT トンネル領域直後の位置に検出部の設置を行った。検出部の向き(シンチレータと入射窓の方向)はビーム上流に向けている。PF Ring からの放射線の影響をできる限り受けたくないような場所を選定し、ビームダクトフランジ部に直接(上部)固定してテストを行った。

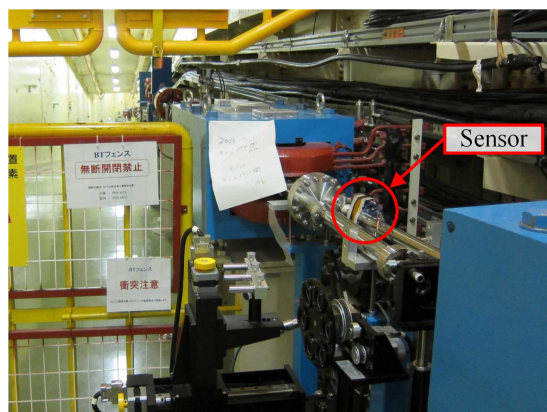


Figure 3: The setting situation of the detection unit.

### 3.2 予備テストでの検出結果

Figure 4 にロス検出信号の波形観測結果を示す。検出部の取り付け位置がビームダクトに極めて近こともあって、検出信号のピーク電圧は高く観測できている。コントロール電圧を 0.8 V から 0.55 V にすると出力電圧は 1/10 程度になり、コントロール電圧によって必要な出力電圧を調整可能であることが確認された。Csl(Tl) の decay time は 0.6 ~ 3.6  $\mu$ s の範囲に複数存在し、50  $\Omega$  終端時の信号はこの decay time と接続しているケーブルによる浮遊容量によって決まっていることがわかる。また、1M $\Omega$  終端では信号を積分することによって高い出力パルス電圧を得ることができるため、より微少なビームロスを検出可能である。今回はビームロスの有無を判定するのが目的であるためエネルギー分析や波形解析などは不要であり、この検出部は簡易なビームロスモニタとしては非常に使いやすいといえる。この結果により、今回の検出部が AR-BT に適応可能であることを確認した。

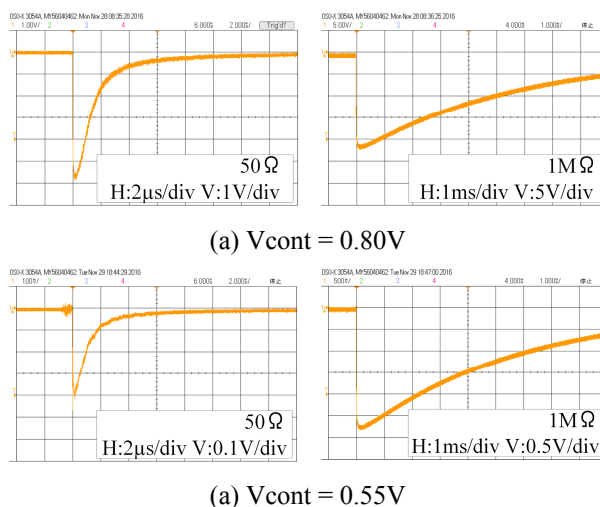


Figure 4: Loss signal at the upstream of the injection point of the PF-Ring.

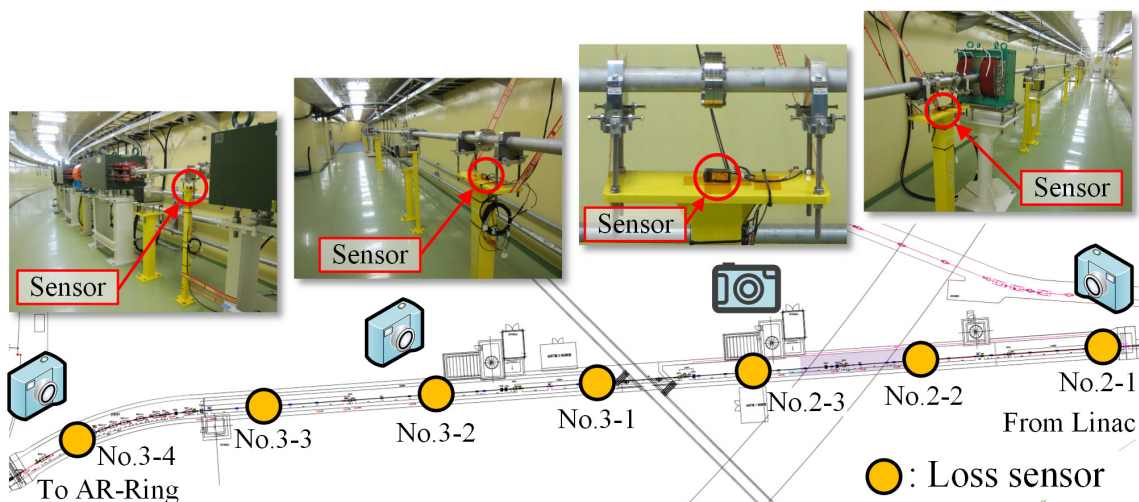


Figure 5: Placement and installation of equipment in PF-AR Direct BT tunnel.

## 4. PF-AR 直接入射路への設置

### 4.1 機器の配置と設置

Figure 5 に機器の配置と設置写真を示す。PF-AR 直接入射路トンネル内に 7 台のロスモニタを設置した。観測装置はオシロスコープにてテストおよび確認作業を行い、実際の運用には現在デジタイザを使用している。機器設置と保守が容易であることから、予備テスト時に比べて検出部の設置位置を 200 mm 程度離れたビームダクト架台のテーブル上にした。これは予備テストの結果からこの位置でも十分にロス信号を検出可能と判断したためである。

### 4.2 電源とコントロール電圧の遠隔操作

光検出器用電源とゲインを設定するコントロール電圧は EPICS により遠隔操作可能となっている。Figure 6 に CSS による操作画面の例を示す。

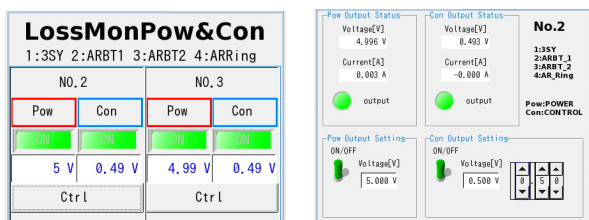


Figure 6: Power supply GUI with CSS.

### 4.3 PF-AR 直接入射路での検出結果

Figure 7 に PF-AR 直接入射路でのロス信号検出結果を示す。最上流のロスモニタよりさらに上流のスクリーンモニタ(SCM) #4 を挿入し、スクリーン挿入時に発生するビームロスを用いてロスモニタのテストを行った。コントロール電圧は全て 0.5 V で、終端抵抗は全て 50 Ω である。Fig. 7(a)の No.2-1 が上流側(Linac 側)のロスモニタで、そこから順番に、Fig. 7(b)の No.3-4 が下流側(AR Ring 側)のロスモニタである。観測によりロス発生時に十分な検出電圧が得られることが確認された。なお、最下流のロスモニタ(No.3-4)の出力電圧が低いのは、検出部の設置箇所がビームダクト曲線部となっており、ロス発生点を見通せないため検出電圧が下がっている。当該ロスモニタの直上流の SCM#8 を挿入してテストを行い、十分な検出電圧を確認している。

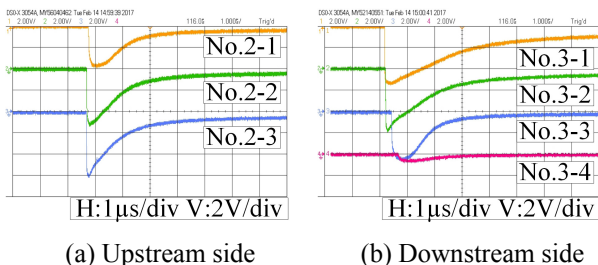
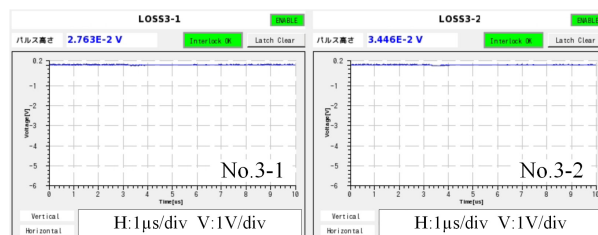


Figure 7: Loss signal in PF-AR Direct BT tunnel.

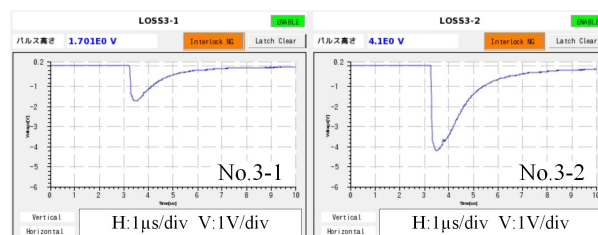
### 4.4 ロスモニタの運用と Alarm 出力について

Figure 8 に運用画面として使用している CSS によるモニタ画面(No.3-1, No.3-2 を抜粋)を示す。ビーム運転中の観測結果である。Fig. 8(a)はビームロスがほぼ無い状態の画面表示であり、Fig. 8(b)はビームロスが発生している状態(SCM は挿入していない)での画面表示である。ビームロスの有無が確実に判断出来ることがわかる。

ロス検出信号はデジタイザで取り込み、Alarm 出力まで行えるようになっている。波形のピーク値と設定した閾値電圧を比較している。ただし、放射線管理で取り扱うレベルより小さいため、閾値を超えても Warning として警告を発するのみで、ビーム停止動作は現在行っていない。



(a) Loss non-occurrence



(b) Loss occurrence

Figure 8: Loss monitor display screen. (Vcont = 0.5V)

## 5. まとめ

今回、PF-AR 直接入射路で使用されるビームロスモニタについて開発を行った。セットアップした検出部を PF Ring の入射点手前で予備テストを行い、ロスモニタとしての適用を確認した。現在、7 台のロスモニタを PF-AR 直接入射路トンネル内に設置し、ビームコミッショニング時及び通常運転時のロス低減調整に役立っている。

今後はロスモニタの台数を Linac 側に 2 台程度、AR Ring 入射点付近に 2 台程度、合計4台程度増設する計画である。現在において、ビームコミッショニング時の大きなロスや通常運転時のロス調整には今回採用のロスモニタは十分な感度がある。したがって、将来、ロスを現状以下に低減させることになっても、このロスモニタは感度が良いので対応可能である。

## 謝辞

EPICS 関連のソフトウェアにおいて、東日技研 亀田吉郎氏、路川徹也氏のご協力を頂きました。ここに感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] [http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/H10720\\_H10721\\_TPMO1062E.pdf](http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/H10720_H10721_TPMO1062E.pdf)
- [2] <http://akizukidenshi.com/download/ds/saintgoban/scintillator-csi-tl.pdf>